# COMUNE DI ROCCELLA JONICA

## PROVINCIA DI REGGIO CALABRIA

REALIZZAZIONE DI IMPIANTI SOLARI FOTOVOLTAICI NELLA STRUTTURA DI PROPRIETA COMUNALE SCUOLA MEDIA ORLANDO FILOCAMO

# PROGETTO ESECUTIVO

# RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

## Impianto fotovoltaico da 20 kWp presso l'istituto "Orlando Filocamo" in Via "Vico Fortunato"

Luglio 2011

Il progettista

Ing. Leandro Mini

## Sommario

Allegati:

Relazione di calcolo delle cadute e dimensionamento cavi elettrici

Relazione di calcolo dell'azione del vento e verifica delle zavorre

Scheda tecnica cavi tipo

Scheda tecnica moduli tipo

Scheda tecnica convertitori tipo

# 1. Premesse

## 1.1. Introduzione

Lo scopo del presente progetto è quello di coprire una parte del fabbisogno di energia elettrica del plesso scolastico dell'istituto "Orlando Filocamo", sita in via "Vico Fortunato" nel Comune di Roccella Ionica, con un impianto fotovoltaico da 20 kWp destinato ad operare in parallelo alla rete elettrica di ENEL DISTRIBUZIONE SpA.

Si effettuerà un analisi tecnica dell'impianto FV e di tutti i suoi componenti: moduli, quadri di campo, inverter, cavi, dispositivo d'interfaccia, sistemi di fissaggio etc.

Nella progettazione dell'impianto si terrà in considerazione il contesto in cui l'immobile, e di conseguenza l'impianto FV, è inserito in modo da operare scelte progettuali che costituiscano l'ottimo tecnico fra le necessità di massimizzare la potenza installata e di minimizzare le perdite impiantistiche (fenomeni di ombreggiamento diretto, auto-ombreggiamento fra moduli, mismatching, dispersioni lungo i cavi ...).

S'intende che, in conformità alla norma CEI 0-2, il presente documento di progetto esecutivo contiene tra le altre le seguenti sezioni:

1. Relazione illustrativa,
   a. Descrizione del progetto;
   b. Illustrazione delle ragioni della soluzione scelta;
   c. Indicazioni delle fasi.

2. Relazione tecnica,
   d. Dati di progetto ;
   e. Criteri di scelta delle soluzioni impiantistiche elettriche e descrizione dell'impianto;
   f. Relazione di calcolo.

3. Planimetria generale (Schema posizionale);

4. Schema elettrico generale unifilare.

5. Schede tecniche dei materiali e dispositivi impiegati

## 1.2. Dati di carattere generale

L'impianto fotovoltaico sarà posizionato su una parte dei terrazzi dell'immobile (vedi Tav. 1).

Tutti i moduli saranno montati su strutture di sostegno con un angolo d'inclinazione (tilt) di 10° ed orientati verso Sud (Azimuth 0°). Le distanze tra le file dei moduli saranno tali da evitare fenomeni di auto-ombreggiamento.

Le strutture di sostegno e ancoraggio saranno realizzate mediante appositi profili di alluminio.

Le strutture saranno ancorate a terra mediante zavorre in cemento collocate sui profili di raccordo orizzontale.

L'alluminio è un materiale perfettamente compatibile con i moduli fotovoltaici, infatti essendo le cornici stesse dei moduli in alluminio, utilizzando lo stesso metallo per il resto della struttura si eviterà la generazione di piccoli flussi di corrente galvanica nei punti di contatto tra metalli di elettronegatività differenti.

La dimensione dell'impianto è stata studiata in base alle specifiche necessità del sito di installazione.

L'impianto sarà collegato all'utenza elettrica passiva già esistente. In ottemperanza alla norma ENEL D. DK 5940 Ed. 2.2 (universalmente riconosciuta da tutti i gestori di rete in Italia) sarà predisposta una fornitura in bassa tensione, trifase a 400 V.

I moduli scelti per questa installazione utilizzano una tecnologia in silicio monocristallino.

Il generatore fotovoltaico sarà inoltre dotato di sistema di monitoraggio in remoto delle prestazioni dell'impianto e delle condizioni ambientali.

I dati di energia prodotta ed emissioni risparmiate saranno visualizzati su apposito schermo posto nell'atrio dell'Istituto.

## 1.3. Sito di installazione

Il sito di installazione si trova in Roccella Ionica in via “Vico Fortunato” (coordinate 38°19’23’’N, 16°24’06’’E), in un contesto urbano, (nell’immagine in basso è riportata un’immagine satellitare dell’area di interesse).

Per eseguire una stima di massima della producibilità di un impianto FV e di un impianto solare è necessario conoscere la radiazione del sito di installazione; in questo caso nella zona di Roccella Ionica è possibile contare su di un irraggiamento medio annuo che consente una produzione di energia elettrica di circa 1320 kW/h per ogni kWp installato (al netto delle perdite varie dovute ad orientamento, temperatura, trasporto, trasformazione, parziale ombreggiamento ecc.) in base ai dati contenuti nel GIS europeo del fotovoltaico (PV-GIS).

In base alla potenza dell'impianto si stima pertanto che la produzione elettrica sarà di circa 27.400 kW/h.

Fenomeni di ombreggiamento locale potrebbero essere causati nel tardo pomeriggio invernale dall'edificio retrostante la scuola (in direzione sud).

Fig.1 Foto satellitare dell’area in cui insiste l’immobile dove verrà installato l’impianto

## 1.4. Terminologia

*Cella fotovoltaica:* Dispositivo semiconduttore che genera elettricità quando è esposto alla luce solare.

*Modulo fotovoltaico:* Assieme di celle fotovoltaiche elettricamente collegate e protette dagli agenti atmosferici, anteriormente mediante vetro e posteriormente con vetro e/o materiale plastico. Il bordo esterno e protetto da una cornice in alluminio anodizzato.

*Pannello fotovoltaico:* Un gruppo di moduli fissati su un supporto metallico.

*Stringa fotovoltaica:* Un gruppo di moduli elettricamente collegati in serie. La tensione di lavoro dell'impianto è quella determinata dal carico elettrico "equivalente" visto dai morsetti della stringa.

*Campo fotovoltaico:* Un insieme di stringhe collegate in parallelo e montate su strutture di supporto, generalmente realizzate con profilati in acciaio zincato.

*Corrente di cortocircuito di un modulo o di una stringa:* Corrente erogata in condizioni di cortocircuito, ad una particolare temperatura e radiazione solare.

*Tensione a vuoto di un modulo o di una stringa:* Tensione generata ai morsetti a circuito aperto, ad una particolare temperatura e radiazione solare.

*Caratteristica corrente-tensione di un modulo o di una stringa:* Corrente erogata ad una particolare temperatura e radiazione, tracciata quale funzione della tensione di uscita.

*Potenza massima di un modulo o di una stringa:* Potenza erogata, ad una particolare temperatura e radiazione, nel punto della caratteristica corrente-tensione dove il prodotto corrente-tensione ha il valore massimo.

*Condizioni standard di funzionamento di un modulo o di una stringa:* Un modulo opera alle "condizioni standard" quando la temperatura delle giunzioni delle celle è 25 °C, la radiazione solare e 1000 W/m² e la distribuzione spettrale della radiazione e quella standard (AM 1,5).

*Condizioni operative di funzionamento di un modulo o di una stringa:* Un modulo lavora in "condizioni operative" quando la temperatura ambiente e di 20°C, la radiazione di 800 W/m² e la velocità del vento di 1 m/s.

*Potenza di picco:* Potenza erogata nel punto di potenza massima alle condizioni standard.

*Efficienza di conversione di un modulo:* Rapporto tra la potenza massima del modulo ed il prodotto della sua superficie per la radiazione solare, espresso come percentuale.

*Quadro protezioni di sottocampo B.T.:* Quadro in cui vengono convogliate le terminazioni di tutte le stringhe e dove ne viene eseguita la messa in parallelo;

*Quadro di parallelo B.T.:* Quadro in cui viene eseguita la connessione in parallelo di tutti gli inverter. Il quadro è fornito di protezioni all'ingresso delle linee ac dagli inverters e all'uscita in trifase o monofase con interruttore magnetotermico differenziale per la consegna in parallelo rete dell'impianto.

*Convertitore cc/ca (Inverter):* Convertitore statico in cui viene effettuata la conversione dell'energia elettrica da continua ad alternata, tramite un ponte a semiconduttori, opportune apparecchiature di controllo, che permettono di ottimizzare il rendimento del campo fotovoltaico, e un trasformatore.

# 2. Normativa e Leggi di riferimento

**Impianti Fotovoltaici**

| | |
|---|---|
| **CEI 11-20** | Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua |
| **CEI 64-8** | Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi i continuità collegati a reti i I e II categoria |
| **CEI 82-25** | Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione |
| **CEI EN 60904-1** | Dispositivi fotovoltaici – Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche tensione-corrente |
| **CEI EN 60904-2** | Dispositivi fotovoltaici – Parte 2: Prescrizione per le celle fotovoltaiche di riferimento |
| **CEI EN 60904-3** | Dispositivi fotovoltaici – Parte 3: Principi di misura per sistemi solari fotovoltaici per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento |
| **ISO/IEC 17025** | General requirements for the competence of testing and calibration laboratories |
| **CEI EN 61727** | Sistemi fotovoltaici (FV). Caratteristiche dell'interfaccia di raccordo alla rete |
| **CEI EN 61215** | Moduli fotovoltaici in silicio cristallino per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto e omologazione. |
| **CEI EN 61646 (82-12)** | Moduli fotovoltaici (FV) a film sottile per usi terrestri. Qualifica del progetto e omologazione. |
| **CEI EN 61000-3-2** | Armoniche lato a.c. |
| **CEI EN 60555-1** | Disturbi nelle reti di alimentazione prodotti da apparecchi elettrodomestici e da equipaggiamenti elettrici simili |
| **CEI EN 60439-1-2-3** | Apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione |
| **CEI EN 60445** | Individuazione dei morsetti e degli apparecchi e delle estremità dei conduttori designati e regole generali per un sistema alfanumerico |

| | |
|---|---|
| **CEI EN 60529** | Gradi di protezione degli involucri (codice IP) |
| **CEI EN 60099-1-2** | Scaricatori |
| **CEI 20-19** | Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V |
| **CEI 20-20** | Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750V |
| **CEI 81-1** | Protezione delle strutture contro i fulmini |
| **CEI 81-3** | Valori medi del numero di fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato |
| **CEI 81-4** | Valutazione del rischio dovuto al fulmine |
| **CEI 0-2** | Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici |

| | |
|---|---|
| **CEI 0-3** | Guida per la compilazione della documentazione per Legge 46/90 |
| **UNI 10 349** | Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati Climatici |
| **CEI EN 61724** | Rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici. Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati |
| **IEC 60634-7-712** | Electrical installations of buildings -Part 7-712: Requirements for special installations or locations Solar photovoltaic (PV) power supply systems |
| **DK 5940** | Norme per il regolamento dell’allaccio alla rete nazionale |
| **DK5740**<br>**DK5600** | Norme per il regolamento dell’allaccio alla rete nazionale per impianti di potenza superiore ai 50 kW. |

**Strutture di sostegno**

| |
|---|
| **DM MLP 12/2/82** |
| **DM 9/1/96** |
| **DM 16/1/96** |
| **CNR UNI 10011** |
| **CNR UNI 10012** |
| **CEI 7-6** |

# 3. Dimensionamento, prestazioni e garanzie

La quantità di energia elettrica producibile sarà calcolata sulla base dei dati radiometrici di cui alla norma UNI 10349 (o dell'Atlante Europeo della Radiazione Solare) e utilizzando i metodi di calcolo illustrati nella norma UNI 8477-1.

Gli impianti fotovoltaici verranno progettati per avere una potenza attiva, lato corrente alternata, superiore al 85% del valore della potenza nominale dell'impianto fotovoltaico, riferita alle condizioni STC.

Dunque, verranno rispettate le seguenti condizioni:

$$P_{cc} > 0,85 * P_{nom} * I / I_{STC}$$

In cui:

$P_{cc}$ è la potenza in corrente continua misurata all'uscita del generatore fotovoltaico, con precisione migliore del ± 2%;

$P_{nom}$ è la potenza nominale del generatore fotovoltaico;

I è l'irraggiamento espresso in W/m$^2$ misurato sul piano dei moduli, con precisione migliore del ± 3%;

$I_{STC}$ pari a 1000 W/m$^2$ è l'irraggiamento in condizioni di prova standard;

Tale condizione sarà verificata per I > 600 W/m$^2$.

$$P_{ca} > 0.9 * P_{cc}$$

In cui:

$P_{ca}$ è la potenza attiva in corrente alternata misurata all'uscita del gruppo di conversione con precisione migliore del ± 2%;

Tale condizione sarà verificata per $P_{ca}$ > 90% della potenza di targa del gruppo di conversione.

In caso di temperatura delle celle superiore a 40°C, misurate sul pannello posteriore, è ammesso considerare ulteriori perdite della $P_{cc}$ come riportato nella norma CEI 82-25.

Non sarà ammesso il parallelo di stringhe non perfettamente identiche tra loro per esposizione, e/o marca, e/o modello, e/o numero dei moduli impiegati. Ciascun modulo, infine, sarà dotato di diodo di by-pass.

Sarà, inoltre, sempre rilevabile l'energia prodotta (cumulata) e le relative ore di funzionamento.

# 4. Analisi dell'impianto fotovoltaico

Il presente progetto è relativo alla realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica tramite conversione fotovoltaica, avente una potenza di picco pari a 20 kWp.

## 4.1. Dati relativi al Committente

| Committente: | Comune di Roccella Ionica |
|---|---|
| Indirizzo: | Via Vico Fortunato – Ufficio lavori pubblici |
| Recapiti telefonici: | |

## 4.2. Dati relativi al progettista

| Nominativo | Leandro Mini |
|---|---|
| titolo | Ingegnere |
| iscrizione | Ordine ingegneri di Roma n° 23427 sezione A |
| indirizzo | Via XXV luglio 9, 00048 Nettuno (RM) |
| cellulare | 347 5718230 |
| e-mail | l.mini@irisat.it |

## 4.3. Località di realizzazione dell’intervento

| Tipo di edificio: | Edificio non residenziale a due piani; corpo a C con corte interna |
|---|---|
| Tipo copertura | Terrazzo piano |
| Indirizzo: | Via “Vico Fortunato” |
| Destinazione d’uso dell’immobile: | Scuola media |
| Tipologia fornitura: | 400V trifase |

### 4.4. Dati relativi al posizionamento del generatore FV

| | |
|---|---|
| Posizionamento del generatore FV: | terrazzo piano |
| Angolo di azimut del generatore FV: | 0°S |
| Angolo di tilt del generatore FV: | circa 10° |
| Fattore di albedo: | Area urbana |
| Fattore di riduzione delle ombre $K_{ombre}$: | 95% |

### 4.5. Sito di installazione

Il sistema FV verrà installato su una porzione del terrazzo dell'edificio, così come rappresentato nella tavola 1 in allegato.

### 4.6. Calcolo del fabbisogno

La dimensione dell'impianto è stata indicata intorno a 19,2 kWp (limite superiore).
La potenza di picco sarà di 19,2 kW pari al valore richiesto.

### 4.7. Analisi delle ombre

Nel sito in questione, ma soprattutto nella zona ove verrà installato l'impianto fotovoltaico, si è riscontrata la presenza di un solo edificio retrostante la scuola (in direzione Sud) che potrebbe causare dei fenomeni di ombreggiamento nel tardo pomeriggio invernale. Per tale ragione si è impiegato un fattore di ombreggiamento 98%.

### 4.8. Fattore di Albedo

Sull'analisi delle strutture circostanti, è stato scelto un fattore di albedo pari a 0,35 relativo agli elementi circostanti (principalmente un paesaggio a medio indice di urbanizzazione).

# 5. Specifiche tecniche dei componenti

## 5.1. Descrizione dell'impianto

L'impianto fotovoltaico sarà costituito da 80 moduli in silicio Monocristallino da 250 Wp.

La garanzia dei moduli dovrà essere di 10 anni sui difetti di fabbricazione, di 12 anni per una potenza non inferiore al 90% dei dati di targa e 30 anni per una potenza non inferiore all'80% dei dati di targa.

La superficie del generatore montato sui terrazzi sarà pari a 135,12 $m^2$, per un peso dei moduli pari a 2837,5 kg a cui si aggiunge il peso delle strutture e delle zavorre per un totale di circa 5.000 kg (peso complessivo generatore FV circa 7837,5 kg).

Il campo fotovoltaico sarà costituito da un unico sottocampo gestito da un gruppo di conversione (inverter)

È previsto l'impiego di un solo inverter realizzato con numero di inseguitori del punto di massima potenza non inferiore a 2.

Il campo sarà così composto:

Sottocampo 1: 8 stringhe da 10 moduli 250 afferenti ad un inverter;

La configurazione dell'inverter e delle stringhe è riportata nel seguente screenshot.

power-one® Changing the Shape of Power

**Aurora Designer v. 3.8.4 rel. 01/05/2011**

System Configuration and Sizing Tool
www.power-one.com/alternative-energies/

**Passo 1 - Input Dati Generali**

| | |
|---|---|
| Lingua | Italiano |
| Marca | MAGE |
| Pannelli | MAGE 250 MR |
| Inverter | TRIO-20.0-TL-OUTD |
| Tipo Montaggio | Montaggio su struttura |
| Min.Temp.Ambiente | -10 C |
| Max.Temp. Ambiente | 40 C |
| Coeff. Derating Pannelli | 0,95 |
| Abilita Gestione Potenza Reattiva | ☐ |

Disponibilità Mercati: Solo Europa

ΔT=Tcell,max-Tamb,max=30°C

Tcell,min -10°C
Tcell,max 70°C

**Risultati - Parametri Dimensionamento Campo PV**

| | |
|---|---|
| Range Pannelli (Eccezioni) | 12-90 (15-23) |
| Num.Min.Pannelli in Serie/Stringa | 7 |
| Num.Max.Pannelli in Serie/Stringa | 13 |
| Num.Max.Stringhe in Parall./MPPT | 4 |
| Num.Max.Pannelli/MPPT | 51 |
| Num.Max.Pannelli/Inverter | 95 |
| Max.Sovraccarico Inverter Richiesto (STC) | 23631 |
| Num.Max.Stringhe in Parall. (MPPT in Parall.) | 4 |

**Risultati - Dati Inverter**

| | |
|---|---|
| Modello | TRIO-20.0-TL-OUTD |
| Pot. Max AC Inverter | 22000 |
| Pot. Nom. AC Inverter | 20000 |
| Potenza @ 40 C | 20000 |
| Max. Tensione Voc | 950 |
| Max.Tensione MPPT | 800 |
| Min.Tensione MPPT | 200 |
| Tensione Attivazione | 360 |
| MPPT Correnti Nominali (A/MPPT) | 25 |
| Numero di canali MPPT | 2 |
| MPPT Potenza Nominali (W/MPPT) | 12000 |
| Rendimento inverter | 0,98 |

**Risultati - Dati Pannelli**

| | |
|---|---|
| Modello | MAGE - MAGE 250 MR |
| Potenza STC (W) | 250 |
| Max. Tensione di Sistema (V) | 1000 |
| Voc (V) | 61,2 |
| Vmp (V) | 51,25 |
| Isc (A) | 5,38 |
| Imp (A) | 4,88 |
| TcoIsc (mA/C) | 2,9590 |
| TcoVoc (V/C) | -0,2124 |
| TcoVmp (V/C) | -0,1778 |

**Passo 2 - Input Dati Configurazione Sistema**

| | |
|---|---|
| Configuraz.Canali MPPT | Indipendenti |
| MPPT1: Moduli in Serie | 10 |
| Stringhe in Parallelo | 4 |
| MPPT2: Moduli in Serie | 10 |
| Stringhe in Parallelo | 4 |

**Configurazione Stringhe**
TRIO-20.0-TL-OUTD
Vin,nom=580Vdc
**Configurazione ottimale delle stringhe!**

**Risultati - Configurazione Sistema**

| | | |
|---|---|---|
| **Pot. Totale FV STC (W)** | **20000** | |
| **Pot. Totale Ingresso DC (W)** | **19000** | ok |
| **Stima potenza uscita inverter** | **18620** | |
| **Numero Totale Pannelli** | **80** | ok |
| **Pot. Totale FV STC (W) / Pot. Nom. AC Inverter** | **100,00%** | |
| **Pot. Totale FV STC (W) / Pot. Max AC Inverter** | **90,91%** | |
| Totale Pannelli MPPT1 | 40 | ok |
| Pot. Totale FV STC (W) | 10000 | ok |
| Totale Pannelli MPPT2 | 40 | ok |
| Pot. Totale FV STC (W) | 10000 | ok |

**Definizioni**

**Pot. Totale FV STC (W):**
Numero Totale Pannelli * Potenza STC (W)
**Pot. Totale Ingresso DC (W):**
Pot. Totale FV STC (W) * Coeff. Derating Pannelli
**Stima potenza uscita inverter:**
Pot. Totale Ingresso DC (W) * Rendimento inverter

**Risultati - Tensioni e Correnti**

| | MPPT1 | | MPPT2 | |
|---|---|---|---|---|
| VocMax (V) < 950V @ -10 C | 686 | ok | 686 | ok |
| VocMax (V)<Max. Tensione di Sistema (V) @ -10 C | 686 | ok | 686 | ok |
| VocMin (V) > Tensione Attivazione @ 40 C | 516 | ok | 516 | ok |
| VmpTyp (V) @ 25 C Ambiente | 459 | ok | 459 | ok |
| VmpMax (V) @ -10 C | 575 | ok | 575 | ok |
| VmpMin (V) >200 V @ 40 C | 432 | ok | 432 | ok |
| Max.Corrente MPPT (A) | 20,05 | ok | 20,05 | ok |
| Potenza MPPT STC (W) | 10000 | ok | 10000 | ok |

**Nota: la tensione di attivazione può essere regolata nei range indicati di seguito.**

**Inverter Trifase:**
250 - 500Vdc

1

Non sarà necessario realizzare alcun quadro di campo in CC il parallelo fra le stringhe verrà effettuato direttamente all'interno dell'inverter quest'ultimo inoltre è provvisto di scaricatori di sovratensione connessi a terra, da sezionatori da 40A e da porta fusibili con fusibili.

La linea a valle dell'inverter sarà protetta da un quadro di parallelo con la rete in CA equipaggiato con 1 interruttore magnetotermico tetrapolare da 1000V, 32A con sensibilità almeno 0,3 A.

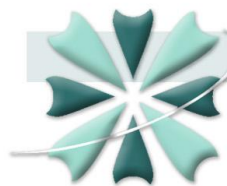
La protezione d'interfaccia, essendo l'impianto di potenza minore di 20 kWp con numero di convertitori non superiore a 3, potrà essere integrata nel gruppo di conversione.

## 5.2. Generatore Fotovoltaico

Il generatore fotovoltaico si comporrà di moduli in silicio monocristallino, la potenza da raggiungere è di 20 kWp, il sottocampo sarà configurato come segue:

| | |
|---|---|
| Numero moduli: | 80 |
| Potenza nominale | 250 Wp |
| Celle: | Silicio monocristallino |
| Tensione circuito aperto $V_{OC}$ | 61,20 V |
| Corrente di corto circuito $I_{SC}$ | 5,38 A |
| Tensione $V_{MP}$ | 51,25 V |
| Corrente $I_{MP}$ | 4,88 A |
| Grado di efficienza: | 14,8 % (circa) |
| Dimensioni: | 1580 mm x 1069 mm x 50 mm |

| **Sottocampo 1** | |
|---|---|
| Numero di moduli | 80 |
| Numero di stringhe | 8 |
| Numero di inverter | 1 |
| Numero di moduli per stringa | 10 |
| Tensione $V_{MP}$ a 25°C | 512,5 V |
| Tensione $V_{OC}$ a -10°C | 686 V |
| Corrente $I_{MP}$ a 25°C (per MPPT) | 19,52 A |
| Superficie attiva complessiva moduli | 1580 mm x 1069 mm x 50 = 1**35,12 m².** |

I valori di tensione alle varie temperature di funzionamento (minima, massima e d'esercizio) rientrano nel range di accettabilità ammesso dagli inverter. I moduli saranno forniti di diodi di by-pass.

La linea elettrica proveniente dai moduli fotovoltaici sarà messa a terra mediante appositi scaricatori di sovratensione con indicazione ottica di fuori servizio, al fine di garantire la protezione dalle scariche di origine atmosferica.

## 5.3. Cablaggi

Al fine di ridurre al minimo le perdite di energia elettrica prodotta si utilizzerà cavo solare da 6 mmq per connettere le stringhe dei moduli, si utilizzerà cavo FG7 da 10 mmq per connettere le uscite in CA degli inverter con il quadro di parallelo con la rete elettrica. Appena a valle del quadro ci sarà posizionato il misuratore di energia prodotta fornito da ENEL DISTRIBUZIONE (contatore trifase di misura aggiuntivo M2), dal quadro di parallelo con la rete la linea è costituita da un cavo in formazione FG7(O)R 4x25mmq per collegare il contatore M2, da quest'ultimo si arriva al quadro generale impiegando la stessa tipologia di conduttore.

Si stima di contenere in tal modo le perdite nei cavi entro il 2% nel complesso (si rimanda alla tabella cavi in allegato per il dettaglio delle cadute di tensione sulle singole linee).

Inoltre i cavi saranno a norma CEI 20-13, CEI 20-22II e CEI 20-37 I, marchiatura I.M.Q., colorazione delle anime secondo norme UNEL, grado d'isolamento di 4 kV.

Per la posa dei cavi saranno rispettate le condizioni per la protezione contro i contatti diretti (norma CEI 11-1), le sollecitazioni meccaniche e termiche indicate dalla norma CEI 11-17, di cui si riporta un estratto nella figura seguente:

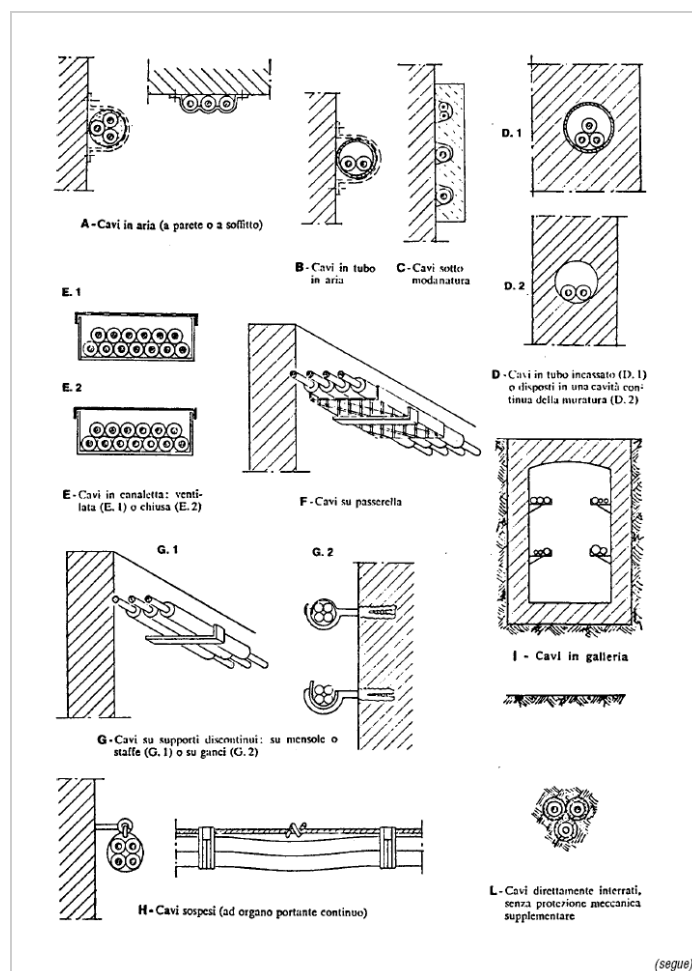



*Figura 4.29 – posa dei cavi secondo norma CEI 11-17*

In particolare si predilige ai fini del presente progetto la soluzione E.1: canalina metallica ventilata.

La canalina metallica, come tutte le masse metalliche coinvolte nel progetto, dovranno essere collegate all'impianto di messa a terra tramite apposito conduttore di protezione (corda nuda da 16mmq).

***Verifica delle cadute di tensione lungo il tratto DC e AC***

Il calcolo della caduta di tensione per i cavi in corrente continua si effettua applicando la formula:

$$\Delta U = \rho \cdot (l/_S) \cdot I_b$$

Dove:

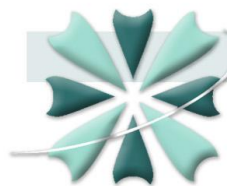
- ρ = resistività del conduttore alle condizioni di impiego
- l = lunghezza del circuito
- S = sezione del conduttore
- $I_b$ = corrente di impiego misurata alle condizioni MPP

In tal caso per il cavo Radox da $6mm^2$ impiegato per la connessione tra le stringhe e l'inverter la resistenza del cavo $\rho \cdot (l/_S)$ sarà pari a 3,39 Ohm/km (si consultino le schede tecniche in allegato).

Per quanto riguarda il tratto in corrente alternata i parametri di tensione e corrente corrente sono legati alla potenza del generatore dalla nota formula

$$P = K \cdot V \cdot I \cdot cos\varphi$$

Essendo coș il fattore di potenza, che possiamo assumere pari ad 1 come da specifiche tecniche del gruppo di conversione Powerone, allegate al progetto, e k un parametro che assume il valore di $\sqrt{3}$ in caso di linea trifase ed il valore 2 per una linea monofase.

Nota la potenza massima di ciascun sottocampo possiamo stimare facilmente la corrente che percorre ciascuna linea AC.

La caduta di tensione lungo una linea AC trifase o monofase risulta pertanto determinata dalla formula

$$\Delta U = K \cdot (R \cdot cos\varphi + X \cdot sen\varphi) \cdot I$$

Essendo I la corrente di impiego, R la resistenza del cavo ed X la sua reattanza.

Le caratteristiche del gruppo di conversione (si veda la scheda tecnica in allegato) fanno sì che coș sia molto prossimo ad 1, in tal caso il secondo termine dell'espressione riportata risulta nullo o trascurabile.

In allegato alla relazione viene fornito il calcolo dettagliato del tratto di linea in DC e AC.

## 5.4. Strutture Di Sostegno Dei Moduli

I moduli verranno montati su apposite strutture di sostegno in alluminio con un'inclinazione del piano dei moduli pari a circa 10°.

I profili in alluminio sono fra loro raccordati a mezzo di viti, dadi e bulloni, nella TAV1 sono forniti dettagli costruttivi delle strutture progettate.

Le strutture saranno poggiate sulla superficie del terrazzo e zavorrate con un peso sufficiente a resistere all'azione del vento (zona 4, 8 m altezza, centri urbani classe rugosità A).

Il peso complessivo necessario a resistere all'azione del vento è stato verificato per un valore di 40 kg/modulo sia a scorrimento sia a ribaltamento.

Nelle verifiche sono stati applicati i criteri di calcolo di cui al DM 14/01/2008 (NTC).

Tale azione controventante è ottenuta applicando delle zavorre di cemento di dimensioni 40x20x20 cm.

Di seguito è riportata un'illustrazione delle strutture utilizzate per il progetto.

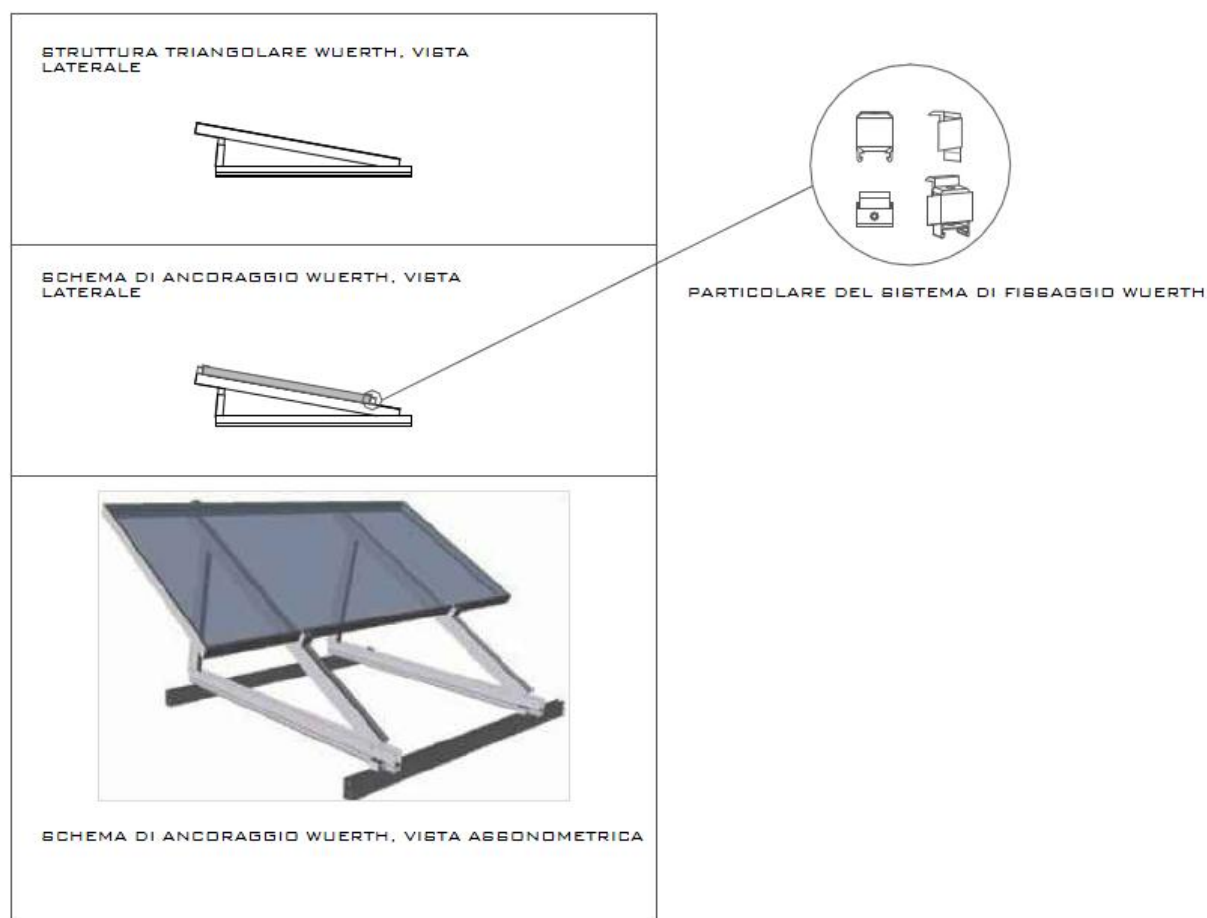



Fig.2 Schema esemplificativo delle strutture di sostegno

Le zavorre, dotate di incavo a misura del profilo inferiore, dovranno essere collocate sul profilo posteriore, in modo da massimizzare la resistenza al ribaltamento.
Si rimanda alla relazione di calcolo in allegato per ulteriori dettagli

## 5.5. Gruppi di conversione

Il gruppo di conversione proposto dovrà essere dotato di doppio circuito di MPPT che consente di gestire con maggior flessibilità eventuali fenomeni di ombreggiamento, ed infine permette di avvicinarsi maggiormente ai 20KWp richiesti.

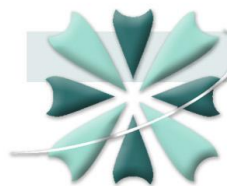
L’inverter potrà non essere dotato di trasformatore di isolamento; in tal caso la separazione tra circuiti in corrente continua ed alternata dovrà essere garantita da bobine di disaccoppiamento integrate nel sistema di conversione, tale soluzione è permessa dalle norme DK 5940 per potenze installate inferiori a 20 kW.

Si allegano le caratteristiche tecniche come dichiarate dal produttore.

IL convertitore CC/CA utilizzato dovrà essere idoneo al trasferimento della potenza dal campo fotovoltaico alla rete del distributore, in conformità ai requisiti normativi tecnici e di sicurezza applicabili. I valori della tensione e della corrente di ingresso di queste apparecchiature dovranno essere compatibili con quelli del rispettivo campo fotovoltaico, mentre i valori della tensione e della frequenza in uscita sono compatibili con quelli della rete alla quale viene connesso l’impianto.

Le caratteristiche principali del gruppo di conversione sono:

- Inverter a commutazione forzata con tecnica PWM (pulse-width modulation), senza clock e/o riferimenti interni di tensione o di corrente, assimilabile a "sistema non idoneo a sostenere la tensione e frequenza nel campo normale", in conformità a quanto prescritto per i sistemi di produzione dalla norma CEI 11-20 e dotato di doppia funzione MPPT (inseguimento della massima potenza)
- Ingresso lato cc da generatore fotovoltaico gestibile con poli non connessi a terra, ovvero con sistema IT.
- Rispondenza alle norme generali su EMC e limitazione delle emissioni RF: conformità norme

CEI 110-1, CEI 110-6, CEI 110-8.

- Protezioni per la sconnessione dalla rete per valori fuori soglia di tensione e frequenza della rete e per sovracorrente di guasto in conformità alle prescrizioni delle norme CEI 11-20 ed a quelle specificate dal distributore elettrico locale. Reset automatico delle protezioni per predisposizione ad avviamento automatico.
- Conformità marchio CE.
- Grado di protezione adeguato all'ubicazione in prossimità del campo fotovoltaico (IP65).
- Dichiarazione di conformità del prodotto alle normative tecniche applicabili, rilasciato dal costruttore, con riferimento a prove di tipo effettuate sul componente presso un organismo di certificazione abilitato e riconosciuto.
- Campo di tensione di ingresso adeguato alla tensione di uscita del generatore FV.
- Doppio circuito MPPT per la gestione indipendente di due ingressi.
- Efficienza massima 98,3 % . rendimento europeo 98 %
- Connessione CA 400V trifase con o senza neutro.

Le caratteristiche tecniche degli inverter scelti sono le seguenti:

| Modello | Power-one PVI-TRIO 20.0-TL-OUTD o similar |
|---|---|
| Numero Ingressi | 4 per ogni MPPT |
| Numero circuiti MPPT | 2 |
| Ingresso max (per MPPT): | 12000 Wp |
| Tensioni in ingresso consentite: | 480 – 800 V |
| Corrente massima in ingresso (per MPPT): | 25 A |
| Efficienza: | > 98,3 % |
| Peso: | 70 kg |

### 5.6. Sistema di monitoraggio

L'impianto fotovoltaico sarà provvisto di stazione di monitoraggio che permette di osservare in tempo reale la

produttività dell'impianto ed il suo stato.

Il sistema di controllo permetterà di interfacciare l'inverter e una stazione meteo ad una rete locale (connessione ethernet) o direttamente ad un computer. In questo modo, attraverso un software installato su un computer sarà possibile misurare la produttività dell'impianto in funzione dei parametri ambientali (irraggiamento, temperatura e velocità del vento).

I dati di produzione ed il corrispondente risparmio in termini di emissioni di gas serra saranno visualizzati su apposito schermo ubicato nell'atrio dell'istituto ed in comunicazione tramite onde radio o via cavo con la centralina di monitoraggio posta nell'inverter.

## 6. Impianto di Messa a Terra (MAT)

Il campo fotovoltaico sarà gestito come sistema IT, ovvero con nessun polo connesso a terra.

Le strutture metalliche esterne ( strutture di sostegno dei moduli, canaline metalliche) saranno equipotenzializzate e connesse a terra.

L'ultimo triangolo di sostegno di ogni fila di moduli sarà connesso con cavo NV7OK da 6 mmq alla treccia in rame nudo da 35 mmq contenuta all'interno della canalina passacavi.

Il cavo di equipotenzializzazione sarà fissato con capocorda avvitato con vite auto forante al lato delle strutture di supporto.

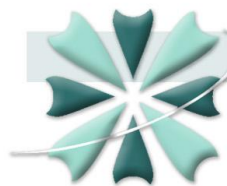
La terra delle strutture sarà dotata di palina autonoma piantata in prossiimità della discesa dei cavi e ispezionabile a mezzo di apposito pozzeto.

La presenza del pozzetto di MAT sarà evidenziata da apposito cartellino.

Le stringhe saranno, costituite dalla serie di singoli moduli fotovoltaici e singolarmente sezionabili, provviste di protezioni contro le sovratensioni.

La messa a terra dei quadri (scaricatori di sovratensione), dell'inverter saranno messe in parallelo su apposita barra di rame da 16 mmq e collegate all'impianto di terra dell'edificio (a seguito di verifica e misura della resistenza di terra effettiva).

Non è necessaria la separazione galvanica tra la parte in corrente continua dell'impianto e la rete; tale separazione sarà sostituita da una protezione sensibile alla corrente continua integrata nell'inverter, ciò è possibile in quanto la potenza nominale del generatore è inferiore a 20 kWp.

Soluzioni tecniche diverse da quelle sopra suggerite, sono adottabili, purché nel rispetto delle norme vigenti e

della buona regola dell'arte.

Ai fini della sicurezza, se la rete di utente o parte di essa è ritenuta non idonea a sopportare la maggiore intensità di corrente disponibile (dovuta al contributo dell'impianto fotovoltaico), la rete stessa o la parte interessata dovrà essere opportunamente protetta.

La struttura di sostegno verrà regolarmente collegata all'impianto di terra appositamente realizzato nei pressi degli elementi stessi e dovutamente protetto contro il rischio di contatto accidentale.

# 7. Dimensionamento dell'impianto

In base alle norme UNI 8477-1 e UNI 10349, l'irraggiamento calcolato su moduli esposti a 0° rispetto al Sud ed inclinati rispetto all'orizzontale di circa 10° con un fattore di albedo scelto è pari a 1720 kWh/m².

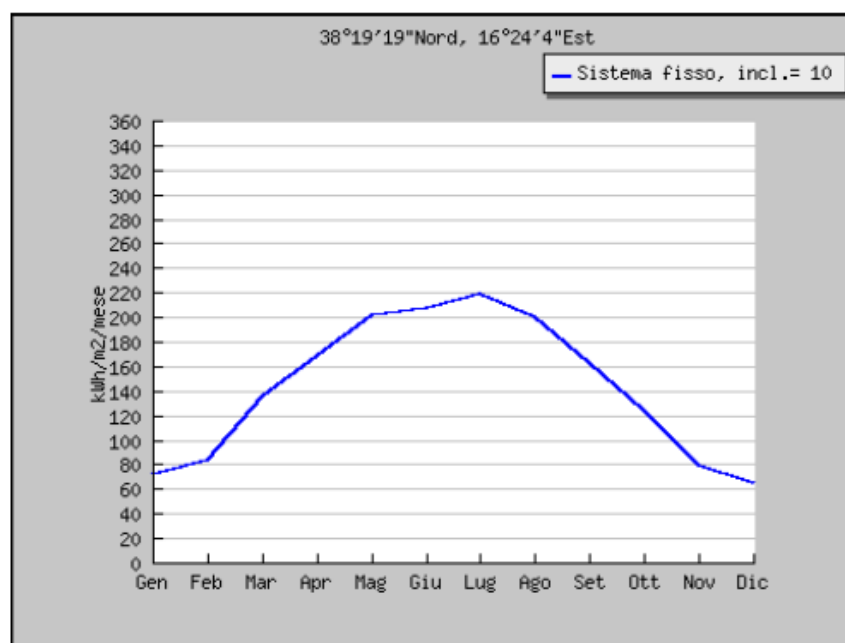



Fig. 3 Irraggiamento medio stimato sul piano dei moduli

La potenza alle condizioni STC (irraggiamento dei moduli di 1000 W/m² a 25°C di temperatura) risulta essere:

$$P_{STC} = P_{MODULO} \times N°_{MODULI} = 250 \times 80 = 20.000 \text{ Wp}$$

Considerando un'efficienza del B.O.S. (Balance of system) del 81,2% che tiene conto delle perdite dovute a diversi fattori quali: maggiori temperature, superfici dei moduli polverose, differenze di rendimento tra i moduli, perdite dovute al sistema di conversione la potenza sul lato c.a. sarà uguale a:

$$P_{CA} = P_{STC} \times 81,2\% = 16.200\ Wp$$

L'energia producibile su base annua dal sistema fotovoltaico è data da:

$$E\ [kWh/anno] = (I \times A \times K_{ombre} \times R_{MODULI} \times R_{BOS})$$

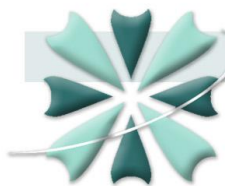
In cui:
I = irraggiamento medio annuo = 1720 kWh/m²
A = superficie totale dei moduli = 135,12 m²

$K_{ombre}$ = Fattore di riduzione delle ombre = 98%.

$R_{MODULI}$ = rendimento di conversione dei moduli = 14,60% (valore medio pesato)

$R_{BOS}$ = rendimento del B.O.S. = 81,2%

Pertanto, applicando la formula abbiamo:

$$E = (1720 \times 135,12 \times 98\% \times 14,80\% \times 81,2\%) = 27371\ [kWh/anno]$$

Il valore di 27371kWh/anno è l'energia che il sistema fotovoltaico produrrà in un anno, se non vi sono interruzioni nel servizio o altre anomalie ora non considerate nel calcolo.

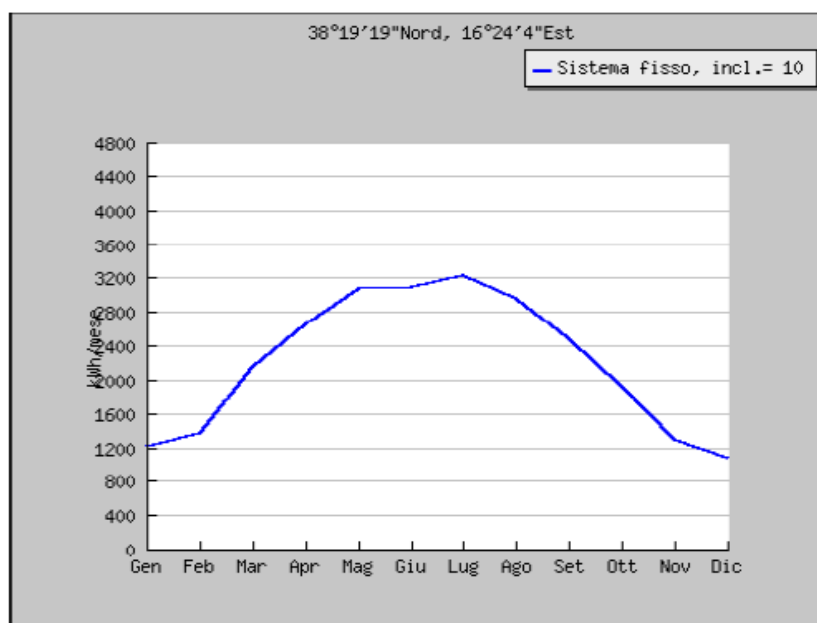



Fig. 4 Produzione media mensile attesa

I misuratori di energia prodotta saranno due:

- un misuratore dell'energia totale prodotta dal sistema fotovoltaico direttamente integrato nell'inverter (display).
- un contatore di energia di tipo elettromeccanico con visualizzazione della quantità di energia ceduta alla rete elettrica esterna, e sarà posto a cura del Distributore di Energia Elettrica. Le predisposizioni murarie saranno a cura dell'installatore dell'impianto FV.

# 8. Verifica tecnico-funzionale

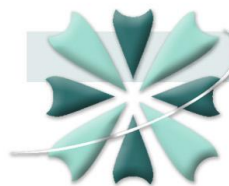
Al termine dei lavori l'installatore dell'impianto effettuerà le seguenti verifiche tecnico-funzionali:

- corretto funzionamento dell'impianto fotovoltaico nelle diverse condizioni di potenza generata e nelle varie modalità previste dal gruppo di conversione (accensione, spegnimento, mancanza rete, ecc.);

- continuità elettrica e connessioni tra moduli;
- messa a terra di masse e scaricatori;
- isolamento dei circuiti elettrici dalle masse;
- misura delle tensioni a vuoto delle stringhe

Inoltre dal punto di vista delle prestazioni energetiche occorrerà verificare:

- $P_{cc} > 0,85*P_{nom} *I / I_{STC}$;
- $P_{ca} > 0,9*P_{cc}$.

In caso di temperatura delle celle superiore a 40°C, misurate sul pannello posteriore, è ammesso considerare ulteriori perdite della $P_{cc}$ come riportato nella norma CEI 82-25.

# 9. Alcune considerazioni sugli impianti fotovoltaici

La produzione di energia elettrica per conversione fotovoltaica dell'energia solare non causa immissione di sostanze inquinanti nell'atmosfera ed ogni kWh prodotto con fonte fotovoltaica consente di evitare l'emissione nell'atmosfera di 0,53 kg di CO2 (percentuale ottenuta dal mix combustibili termoelettrici italiani), nel caso dell'impianto dell'Istituto alberghiero di Roccella Ionica il risparmio atteso è di 14 t/anno di CO2.

## 9.1. Varie

Sarà applicata, in fase di lavori, la seguente cartellonistica:

- QUADRO ELETTRICO GENERALE
- PERICOLO
- NON ESEGUIRE LAVORI PRIMA D'AVER TOLTO LA TENSIONE
- QUADRO ELETTRICO
- NON USARE ACQUA PER SPENGNERE INCENDI

## 9.2. Raccomandazioni

Dovranno essere emessi e rilasciati dall'installatore i seguenti documenti:

- manuale di uso e manutenzione, inclusivo della pianificazione consigliata degli interventi di manutenzione;
- dichiarazione attestante le verifiche effettuate e il relativo esito;
- dichiarazione di conformità ai sensi di legge 46/90, articolo 1, lettera a;
- certificazione rilasciata da un laboratorio accreditato circa la conformità alla norma CEI EN 61215, per moduli al silicio cristallino, o alla CEI EN 61646 per moduli a film sottile;
- certificazione rilasciata da un laboratorio accreditato circa la conformità del convertitore cc/ca alle norme vigenti e, in particolare alle norma CEI 11-20 e alle prescrizioni ENEL DK 5940 ed 2.2 qualora venga impiegato il dispositivo d'interfaccia interno al convertitore stesso;
- certificati di garanzia relativi alle apparecchiature installate;
- garanzia sull'intero impianto e sulle relative prestazioni di funzionamento.